

② BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

② Patentschrift  
① DE 3808331 C2

⑥ Int. Cl. 5:  
H02K 7/09  
F 16 C 32/04

② Aktenzeichen: P 38 08 331,0-32  
② Anmeldetag: 12. 3. 88  
③ Offenlegungstag: 28. 9. 88  
③ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 29. 3. 90

DE 3808331 C2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

② Patentinhaber:  
Kernforschungsanlage Jülich GmbH 5170 Jülich, DE

② Teil In: P 38 44 563,8

② Erfinder:

Fremerey, Jochen K., Dr., 5300 Bonn, DE

③ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:  
DE 34 09 047 A1

④ Magnetische Lagerung für einen Rotor mit Permanentmagneten zur Aufnahme der radiaLEN Lagerkräfte

DE 3808331 C2

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine magnetische Lagerung für einen Rotor mit Permanentmagneten zur Aufnahme der radialen Lagerkräfte und mit einem Stabilisierungslager, wie sie im Oberbegriff des Patentanspruches 1 angegeben ist.

Magnetlager dieser Art sind aus US-PS 39 29 390 und Journal of Spacecraft, Band 17, No. 2, 1980, S. 93–98, bekannt. Bei diesen Magnetlagern sind an beiden Rotoren ringförmig ausgebildete Permanentmagnete angebracht, die mit am Stator befestigten Ringmagneten in der Weise zusammenwirken, daß auf den Rotor bei radialem Auslenkung eine radiale Zentrierkraft ausgeübt wird. Gleichzeitig entsteht in axialer Richtung eine Kraftinstabilität durch die Permanentmagnete. Diese Kraftinstabilität wird durch eine in der Mitte des Rotors angebrachte, axial wirkende elektromagnetische Ablenkzelle ausgeglichen, die mit elektrischen Steuerströmen entsprechend der jeweiligen axialen Abweichung des Rotors von seiner axialen Sollposition beaufschlagt wird. Die Abweichung wird mittels eines berührungslosen Sensorsystems erfaßt, welches den die Ablenkzelle durchfließenden Steuerstrom über einen entsprechenden elektronischen Verstärker regelt. Auf beiden Seiten der Ablenkzelle sind in unmittelbarer Nähe der an den Rotoren angebrachten Permanentmagneten mit dem Stator fest verbundene Kupferscheiben angebracht, die mit am Rotor befestigten Permanentmagneten in der Weise zusammenwirken, daß radiale Vibrationen des Rotors gedämpft werden. Dagegen werden in einer aus DE-A 34 09 047 bekannten magnetischen Lagerung für diejenigen permanentmagnetischen Lagerelemente, die die radiale Zentrierung des Rotors bewirken, die Positionen beidseitig des Rotorschwerpunkts im wesentlichen beibehalten, während die Ablenkzelle an das Ende der Rotorwelle außerhalb der permanentmagnetischen Rotorlager gelegt ist. Die Ablenkzelle enthält dabei mehrere am Rotor befestigte Permanentmagnete, die mit einer am Stator angebrachten Kupferplatte eine Wirbelstromdämpfung für radiale Vibrationen des Rotors bewirken.

Nachteil der vorbeschriebenen Magnetlagerungen ist, daß während des Betriebes solcher Lagerungen auftretende axiale Deformationen des Rotors und in besonderem Maße des den Rotor einschließenden Gehäuses, an welchem die Statormagnete befestigt sind, eine beträchtliche Dejustierung des Lagersystems bewirken können, so daß unter ungünstigen Bedingungen der Spielraum in der magnetischen Ablenkzelle überschritten wird. Die genannten Deformationen treten insbesondere infolge von Druckbelastungen des Gehäuses auf, wenn dieses beispielsweise evakuiert wird, oder infolge von thermischen Belastungen, die in erster Linie vom Antriebsmotor für den Rotor verursacht werden. Andererseits können antriebsbedingte oder durch Gasreibung bei hohen Rotationsgeschwindigkeiten verursachte Erwärmungen des Rotors eine Längenänderung des Rotors und damit eine Dejustierung der magnetischen Lagerungen verursachen.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine magnetische Lagerung zu schaffen, deren Justierung weitestgehend unempfindlich gegen Deformationen ist, ohne daß der Lageraufbau aufwendig wird.

Diese Aufgabe der Erfindung wird bei einem Magnetlager der eingangs beschriebenen Art durch die im Patentanspruch 1 angegebenen Merkmale gelöst. Das erfundene Lager weist nur noch zwei in sich ge-

schlossene Lagerkomponenten auf, wobei die statische Justierung durch ein Schwerpunktllager mit vergleichsweise hoher magnetischer Steifigkeit bestimmt wird, während das Stabilisierungslager mit im Vergleich zum

- 5 Schwerpunktllager geringerer Steifigkeit im wesentlichen die berührungslose Stabilisierung des Systems übernimmt. Das Schwerpunktllager trägt den weitaus größten Teil des Rotorgewichts und ist im Bereich des Rotorschwerpunkts angeordnet. Diese Aufteilung der 10 tragenden und stabilisierenden Funktion auf zwei unterschiedliche magnetische Lager ist in seiner Wirkungsweise vergleichbar mit der Aufteilung der tragenden und stabilisierenden Funktionen von Tragfläche und Leitwerk bei Flugzeugen.
- 15 Dadurch, daß das Schwerpunktllager die Rotormasse trägt, wird auch die Gleichgewichtslage des Rotors in axialer Richtung überwiegend vom Schwerpunktllager bestimmt, während deformationsbedingte Verschiebungen des Stabilisierungslagers wegen dessen geringer Steifigkeit nur einen unbedeutenden Einfluß auf das Rotorgleichgewicht haben. Bevorzugt beträgt das Verhältnis der Lagersteifigkeit zwischen Schwerpunktllager und Stabilisierungslager mindestens 10 : 1.

Die Schwerpunktllagerung des Rotors macht auch 25 fliegende Lagerungen von Maschinenteilen möglich. Eine solche Lagerung bietet neben der für die Handhabung des Systems günstigen Montagefreiheit an der lagerfreien Seite den Vorteil, daß alle Komponenten der magnetischen Lagerung in einem kurzen und deshalb formstabilen Gehäuse untergebracht werden können, im Gegensatz zu den bekannten Lagerungen, bei denen die Lagerkomponenten über entsprechend große Gehäuseteile verbunden werden müssen, deren Deformationen sich, wie vorbeschrieben, auf die Magnetlage rung negativ auswirken.

Die hohe Lagersteifigkeit im Schwerpunktllager wird 30 durch Anordnung eines ersten Satzes von Rotor- und Statormagnetringen und zumindest einem weiteren Satz von Magnetringen erreicht, die eine mit dem ersten Satz entgegengesetzte axiale Magnetisierung aufweisen, wobei Stirnflächen der Rotor- bzw. Statomagnetringe des einen Satzes mit Stirnflächen der Rotor- bzw. Statomagnetringe des anderen Satzes in einer Ebene liegen. Aufgrund der auf diese Weise erzeugten magnetostatischen Gegebenheiten durch die Anordnung von konzentrischen Polflächen entgegengesetzter Polarität an den Lagerspalten läßt sich die Steifigkeit eines Lagers im Verhältnis zum eingesetzten Magnetmaterialvolumen überproportional steigern.

Die Ausbildung von konzentrischen, in einer Ebene liegenden Polflächen kann in vorteilhafter Weise auch 35 durch lokal unterschiedliche Magnetisierung einer aus einem Stück gefertigten Scheibe erreicht werden. Patentanspruch 2. Mit Scheiben dieser Art lassen sich die mechanischen Bearbeitungskosten senken und die Montagekosten des Schwerpunktllager verringern.

Die erfundungsgemäße Rotorlagerung ist insbesondere 40 zur Lagerung einer Schwungscheibe geeignet, die als Energiespeicher für unterbrechungsfreie Stromversorgungen oder für Chopper mit hoher Zeitauflösung dient. Schwungscheiben dieser Art werden aus hochfestem Material gefertigt, beispielsweise aus einem für höchste Drehgeschwindigkeiten ausgelegten Faserverbundmaterial. Die Rotorlagerung ist auch für Rotoren einer axial und/oder radial verdickten Gasturbine, insbesondere einer Turbomolekularpumpe zur Erzeugung von Hochvakuum einsetzbar. Bei dieser Anwendung kommt der erfundungsgemäßen Lagerung aufgrund ih-

res einfachen Aufbaus und der hieraus folgenden hohen Betriebssicherheit eine besondere Bedeutung für die Vakuumprozeßtechnik zu. Eine weitere Verwendung ist für Spinturbinen gegeben. Für Spinturbinen ist insbesondere die kostengünstige Herstellbarkeit des Magnetlagers von Vorteil.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Die Zeichnung zeigt im einzelnen:

Fig. 1 die magnetische Lagerung, Grundaufbau;

Fig. 2a das Schwerpunktllager mit zwei entgegengesetzten magnetisierten Magnetsringsets;

Fig. 2b das Schwerpunktllager mit Magnetscheiben, die zwei konzentrisch angeordnete, ringförmige Zonen entgegengesetzter axialer Magnetisierung aufweisen;

Fig. 3 das Stabilisierungslager;

Fig. 4 die radiale Ablaufbuchse.

Fig. 1 zeigt schematisch den Grundaufbau der erfindungsgemäßen magnetischen Lagerung. Ein Rotor 1, bestehend aus Welle 2 und an der Welle befestigtem Maschinenteil 3 (beispielsweise ein Schwungrad), befindet sich mit seinem Schwerpunkt 4 innerhalb eines Schwerpunktllagers 5. Das Schwerpunktllager 5 ist an einem Lagergehäuse 6 befestigt, das auch ein Stabilisierungslager 7 trägt. Am Lagergehäuse 6 ist für die Abtastung der axialen Rotorposition ein Sensor 8 angebracht, der mit dem Eingang eines Regelverstärkers 9 verbunden ist. Der Ausgangstrom des Regelverstärkers 9 beaufschlagt die im Stabilisierungslager 7 befindlichen Ablenkspulen in der Weise, daß bei axialen Abweichungen des Rotors aus seiner vorgegebenen berührungslosen Soll-Position eine der Abweichung entgegenwirkende Rückstellkraft auf den Rotor ausgeübt wird. Der Regelverstärker 9 wird dabei vorzugsweise so ausgelegt, daß der Rotor 1 eine axiale Position einnimmt, in welcher alle im Schwerpunktllager 5 wirkenden statischen Axialkräfte ausgeglichen sind, so daß unter diesen Bedingungen der Ausgangstrom des Regelverstärkers zu Null wird. Dies trifft bei ausreichender Dimensionierung des Schwerpunktllagers 5 und des Stabilisierungslagers 7 insbesondere auch für den Fall einer vertikalen Achslage des Gesamtsystems zu, in welcher außer den vom Schwerpunktllager 5 und vom Stabilisierungslager 7 erzeugten magnetostatischen Axialkräften zusätzlich die Gewichtskraft des Rotors 1 aufgefangen werden muß. In diesem Falle sind die nach oben gerichteten Magnetkräfte um die Gewichtskraft größer zu bemessen als die nach unten gerichteten Magnetkräfte. Das Maschinenteil 3 ist an der Welle 2 derart anzukoppen, daß der Schwerpunkt des Rotors 1 möglichst mit der Mitte des Schwerpunktllagers 5 zusammenfällt.

Fig. 2a zeigt einen Halbschnitt durch ein Ausführungsbeispiel des Schwerpunktllagers 5. Das Schwerpunktllager weist konzentrisch angeordnete Rotormagnetringe 16a, 16b, 18a, 18b und Statormagnetringe 17a bis 17c und 19a bis 19c auf, die sich in ihren Abmessungen entsprechend und innerhalb eines vorzugsweise aus Eisen oder einem anderen magnetisch leitenden Werkstoff gefertigten Schwerpunktllagergehäuse 12 in der Weise hintereinander angeordnet sind, daß sich die Rotormagnetringe jeweils zwischen Statormagnetringen befinden. Die Rotormagnetringe sind mittels einer Sitzscheibe 18 an der Welle 2 befestigt. Die Stirnseiten der Rotor- und Statormagnetringe stehen sich in engem axialem Abstand gegenüber.

Die Rotor- und Statormagnetringe weisen jeweils zwei Magnetsringsets auf, wovon ein in radialer Richtung jeweils außen liegender Satz von Rotormagnetringen

16a, 16b und Statormagnetringen 17a, 17b, 17c einem innen liegenden Satz von Rotormagnetringen 18a, 18b und Statormagnetringen 19a, 19b, 19c benachbart angeordnet ist. Der außen liegende Satz der Magnetringe 16, 17 und der innen liegende Satz der Magnetringe 18, 19 sind jeweils in entgegengesetzter Richtung axial magnetisiert. Die Stirnflächen aller Magnetringe liegen bei den Rotor- bzw. Statormagnetringen jeweils in einer Ebene.

10 Alle Rotor- und Statormagnetringe des Schwerpunktllagers 5 bestehen aus hartmagnetischem Material und sind in achsparalleler Richtung magnetisiert. Die Rotor- und Statormagnetringe sind an der Welle 2 bzw. im Schwerpunktllagergehäuse 12 derart befestigt, daß sie in bezug auf ihre Magnetisierungsrichtung 14, die in Fig. 2a und 2b mit Pfeilen angedeutet ist, jeweils hintereinander angeordnet sind. An den Lagerspalten zwischen Stator- und Rotormagnetringen stehen sich somit entgegengesetzte Magnetpole gegenüber, zwischen denen sich ein starker Magnetfeld mit anziehender Wirkung aufbaut. Die Anziehungskräfte nehmen mit enger werdenden Lagerspalten stark zu. Bei Mittelstellung der Rotormagnetringe zwischen den Statormagnetringen ergibt sich ein Kräftegleichgewicht, das jedoch außerst instabil ist und nur durch entsprechende Auslegung des Stabilisierungslagers 7 (Fig. 3) aufrechterhalten werden kann.

Das zwischen den Stirnflächen der Rotor- und Statormagnetringe herrschende Magnetfeld bewirkt eine hohe radiale Rückstellkraft zwischen den Magnetringen. Die Magnetringe müssen mindestens so bemessen sein, daß das Rotorgewicht aufgefangen werden kann. In axialer Richtung können vergleichbare Rückstellkräfte durch eine axiale Verschiebung des Rotors erzeugt werden, so daß insbesondere bei vertikaler Achslage die aus den veränderten Lagerspaltweiten resultierenden magnetischen Differenzkräfte den Gewichtsausgleich bewirken.

Bezogen auf das eingesetzte Magnetmaterialvolumen bietet die Anordnung der Magnetringe nach Fig. 2a eine um 50% höhere Lagersteifigkeit gegenüber einer Lageranordnung, wie sie beispielsweise in DE 34 09 047 A1 beschrieben ist. Ohne wesentliche Vergrößerung des Außendurchmessers des Schwerpunktllagergehäuses 12 läßt sich somit bei unveränderter Bauhöhe ein Vielfaches an Kri.reserve im Schwerpunktllager 5 installieren.

Eine noch weitergehende Ausnutzung des eingesetzten Magnetmaterials bietet die in Fig. 2b wiedergegebene Variante des Schwerpunktllagers 5. Bei diesem Schwerpunktllager sind anstelle der in Fig. 2a wiedergegebenen einander angepaßten Rotor- und Statormagnetringe Scheiben 20a, 20b, 21a, 21b aus hartmagnetischem Material eingesetzt, die jeweils durch Pfeile markierte konzentrische ringförmige Zonen entgegengesetzter Magnetisierung aufweisen und derart aufeinander abgestimmt angebildet und eingesetzt sind, daß die permanentmagnetischen Zonen der Scheiben – analog zur Lageranordnung nach Fig. 2a – im äußeren und inneren Bereich in entgegengesetzter Richtung magnetisiert sind. Bei dieser Magnetlagerausführung sind vorzugsweise alle Scheiben auf Eisenfußscheiben 22, 23 montiert, wodurch die Wirkung der permanentmagnetischen Zonen weiter gesteigert werden kann. Im Ausführungsbeispiel nach Fig. 2b ist ein alle Rotormagnetringe in ihrer gesamten axialen Länge einfassender Schutzring 24 aus unmagnetischem Material hoher Zugfestigkeit vorgesehen.

Die äußeren Rotormagheringe 16a, 16b sind im Ausführungsbeispiel in Schutzzringen 15 aus einem Material mit hoher Zugfestigkeit eingeprägt, damit sie bei hohen Drehgeschwindigkeiten nicht durch Zentrifugalkräfte zerissen werden. Als Material für die Schutzzringe 15 eignen sich neben hochfestem Edelstahl- oder Titanlegierungen insbesondere faserverstärkte Kunststoffe, wie glas-, kohlenstoff- oder auch borfaserverstärkte Kunststoffe.

Fig. 3 zeigt den Aufbau des Stabilisierungslagers 7. Im Gehäuse 25 des Stabilisierungslagers 7 sind zwei elektrische Spulen 26a, 26b eingelassen, die mit zwei an der Welle 2 befestigten Ringmagneten 27a, 27b aus permanentmagnetischem Material in der Weise zusammenwirken, daß auf den Rotor 1 bei axialem Mittelpunkt der Ringmagnete im Gehäuse 25 eine Axialkraft übertragen wird, deren Richtung und Betrag eindeutig und linear der Richtung und dem Betrag des die Spulen durchfließenden Stroms zugeordnet sind. Der Umlaufsinn des Stroms in den Spulen 26a, 26b ist dabei jeweils entgegengesetzt gerichtet.

Die Ringmagnete 27a, 27b des Stabilisierungslagers 7 sind auf Stützschalen 28a, 28b montiert und in Schutzzringen 29a, 29b aus einem unmag-Material hoher Zugfestigkeit eingefäßt. Zwischen die Ringmagnete 27a, 27b ragt eine mit dem Stator fest verbundene Scheibe 30 aus elektrisch gut leitendem Material, vorzugsweise aus Kupfer, hinein. In der Scheibe 30 werden bei radialem Vibrationen des Rotors 1 durch die Ringmagnete 27a, 27b elektrische Wirbelströme induziert. Die in der Vibrationsbewegung des Rotors 1 enthaltene mechanische Energie wird dabei induktiv auf die Scheibe 30 übertragen und in Wärme umgesetzt. Auf diese Weise werden die Vibrationen des Rotors wirksam gedämpft.

Durch die Drehbewegung des Rotors 1 um seine Rotationsachse 31 werden nur vernachlässigbare kleine Wirbelströme in der Scheibe 30 erzeugt, weil die magnetische Durchflutung der Scheibe sich bei dieser Bewegung nicht verändert. Die Scheibe 30 weist außerhalb des von den Ringmagneten 27a, 27b gebildeten Spaltes einen Kragen 32 auf, der den äußeren Kurzschluß für die Wirbelströme verbessert, so daß die Vibrationsdämpfung effektiver wird.

Zur radialem Begrenzung der Bewegungsfreiheit der Welle 2 ist in Fig. 4 eine Anlaufbuchse 48 gezeigt, die am Schwerpunktträgergehäuse 12 befestigt ist. Die Anlaufbuchse 48 besteht vorzugsweise aus einem Kunststoff mit guter Gleiteigenschaft, z. B. aus PTFE oder Polyimid mit eingelagerten Gleitstoffen.

gen (18a, 18b, 19a, 19b, 19c) mit zum ersten Satz entgegengesetzter axialer Magnetisierung aufweist, wobei Stirnflächen der Rotor- bzw. Statormagheringe (16a, 16b, 17a, 17b, 17c) des einen Satzes mit Stirnflächen der Rotor- bzw. Statormagheringe (18a, 18b, 19a, 19b, 19c) des anderen Satzes in einer Ebene liegen,

— und ein zweites permanentmagnetisches Lager, im folgenden Stabilisierungslager (7) genannt, mit vergleichsweise geringer Steifigkeit, welches die elektrischen Spulen (26a, 26b) für die axiale Stabilisierung des Rotors (1) und zusätzlich die Wirbelstromdämpfung enthält.

2. Magnetische Lagerung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Magnetringe Scheiben (20a, 20b, 21a, 21b) aus hartmagnetischem Material mit mindestens zwei konzentrischen, ringförmigen Zonen entgegengesetzter axialer Magnetisierung eingesetzt sind.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

#### Patentansprüche

1. Magnetische Lagerung für einen Rotor, mit Permanentmagneten zur Aufnahme der radialem Lagerkräfte, mit einem Stabilisierungslager, das den Rotor in einer berührungslosen Lage gegenüber einem Stator hält, wobei am Stator angebrachte elektrische Spulen mit am Rotor befestigten magnetisierbaren Teilen zusammenwirken, und mit einer Wirbelstromdämpfung der Radialbewegungen des Rotors (1) gegenüber dem Stator, gekennzeichnet durch

— ein im Schwerpunktbereich des Rotors angeordnetes permanentmagnetisches Lager, im folgenden Schwerpunkttrager (5) genannt, das neben einem ersten Satz von Rotor- und Statormagheiringen (16a, 16b, 17a, 17b, 17c) mindestens einen weiteren Satz von Magne-

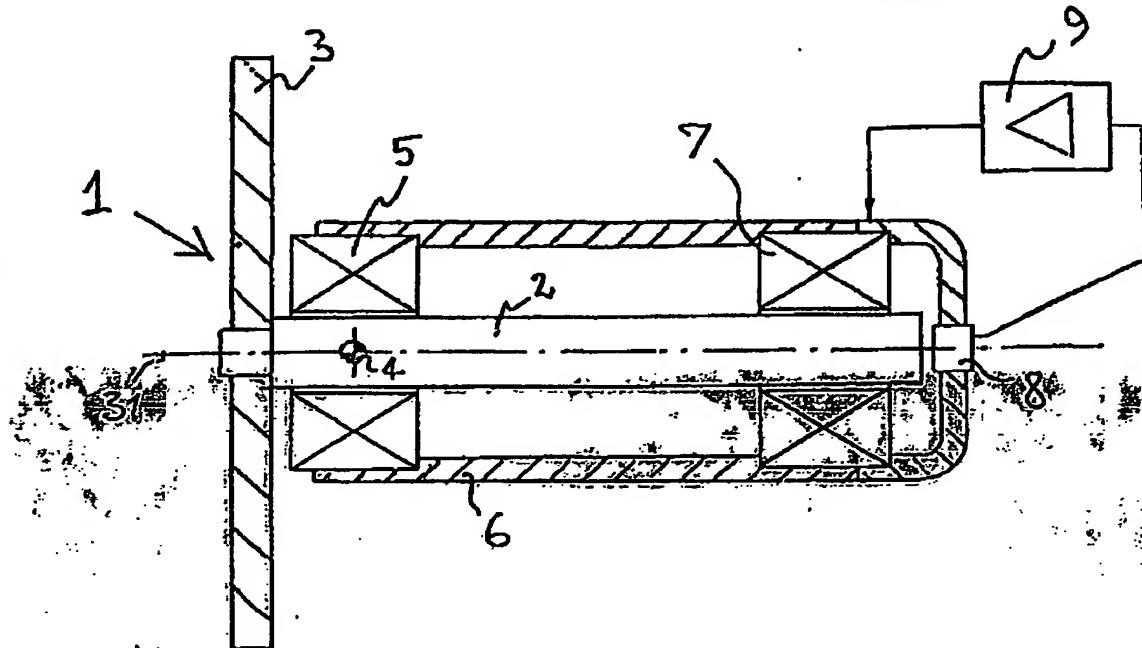


FIG. 1

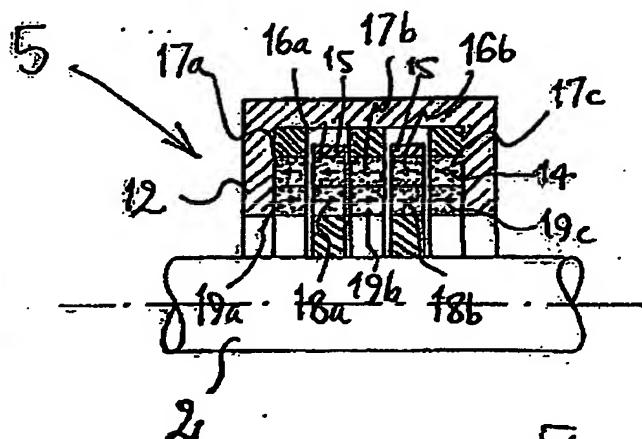


FIG. 2a

BEST AVAILABLE COPY

ZEICHNUNGEN SEITE 2

Nummer: DE 39 08 331 C2  
Int. Cl.: H 02 K 7/05  
Veröffentlichungstag: 29. März 1990

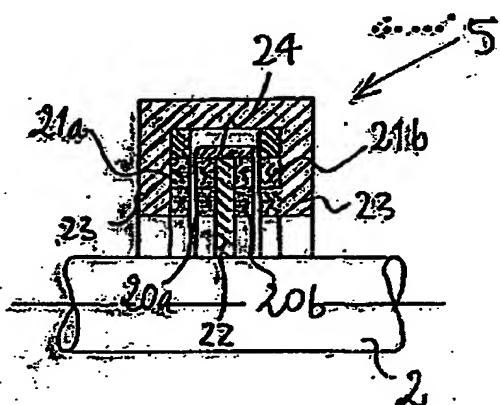


FIG. 2b

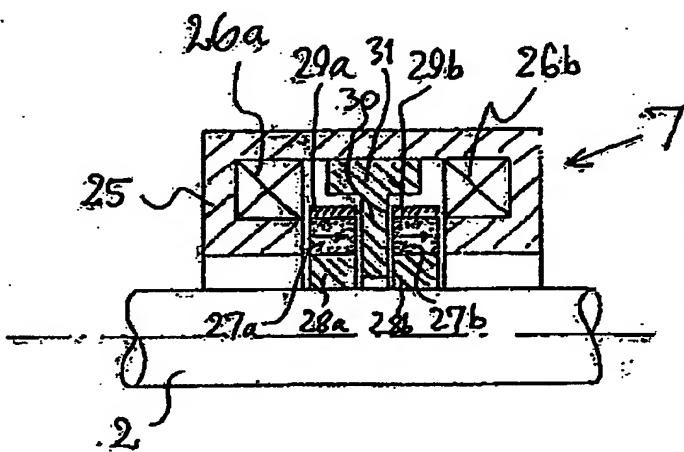


FIG. 3

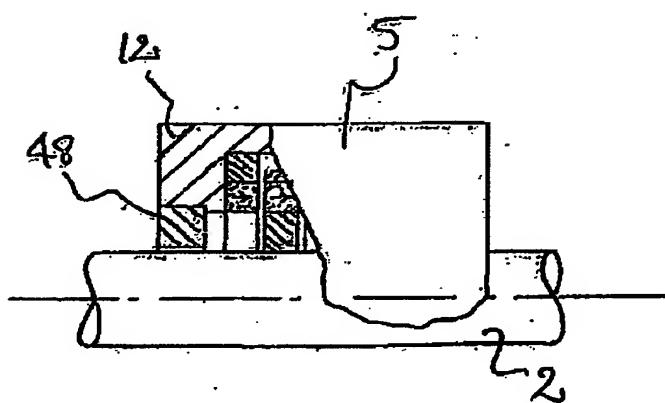


FIG. 4